

Massereduzierung einer Lasteinleitung im LR16-Sandwichmonocoque durch Optimierung des Insertelement



Marcel Bröker

21.10.2016

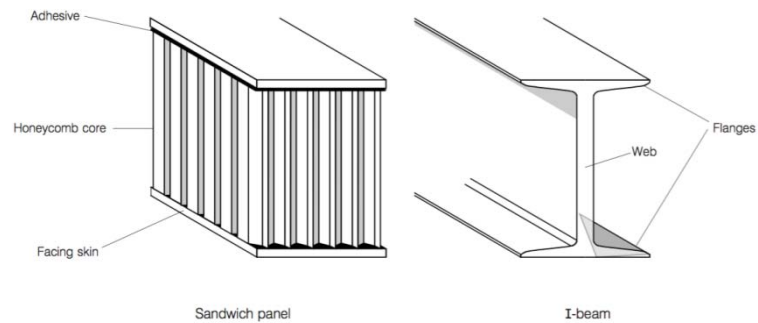
Abschlusskolloquium Studienarbeit

Betreuer: Hr. Prof. Dr. C. Hühne / Hr. J. Wolff

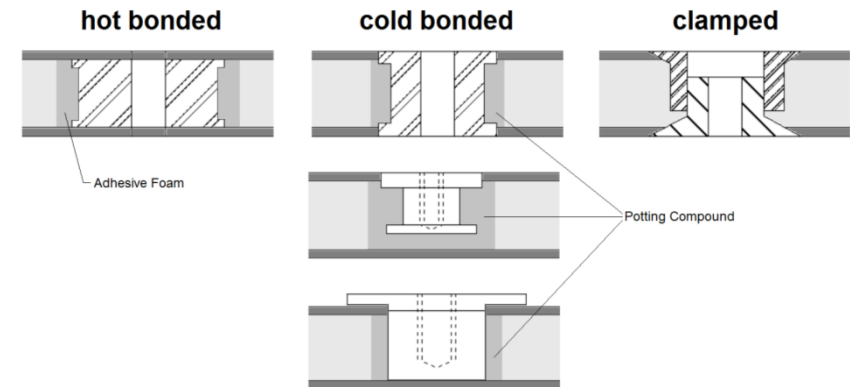
- Zielstellung
- Grundlagen
- Randbedingungen
- Inserts
- Fertigung
- Testdurchführung
- Ergebnisse und Aufwertung
- Fazit und Ausblick

- 2016 erstes Sandwichmonocoque des Lions Racing Teams
- Aus Sicherheit nur Vollaluinserts -> schwer
- **Ziel: Gewichtsoptimierung der Schultergurtanbindung**
- Feste Randbedingungen zum Schultergurtanbindung durch die Regeln

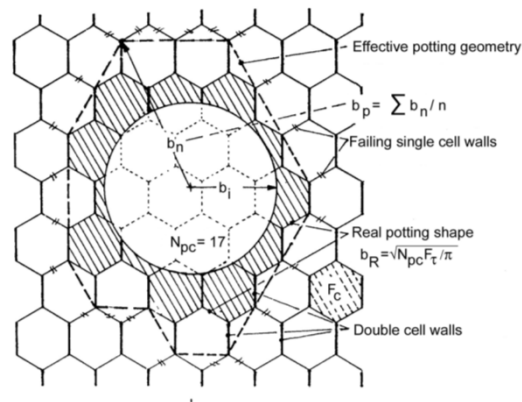




Sandwichbauweise



Arten von Lasteinleitungen - Inserts



Potting/Kern-Interface

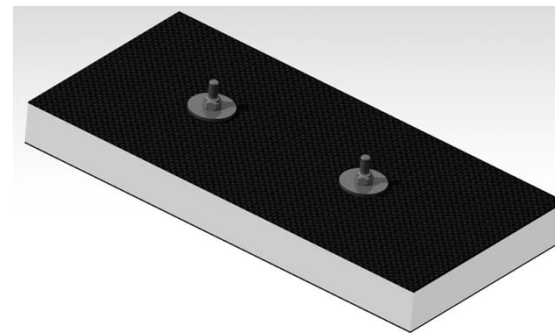
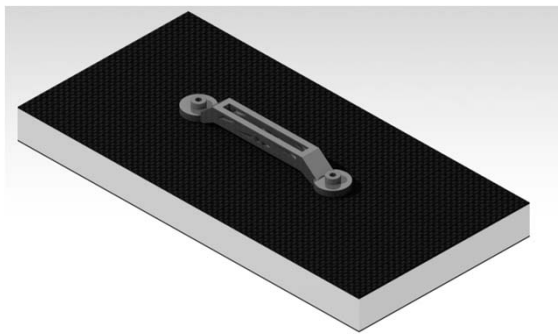
Quelle: ESA European Space Agency. Space Engineering

FSAE - Regeln zum Schultergurt

- Min. zwei M6 (8.8)
- Unterlegscheibe aus zwei Millimeter Stahl mit min. $r = 12 \text{ mm}$
- Anbindung muss 13 kN transversale Zugbelastung aushalten
- Abmessung des Sandwichpaneels 150 x 300 mm

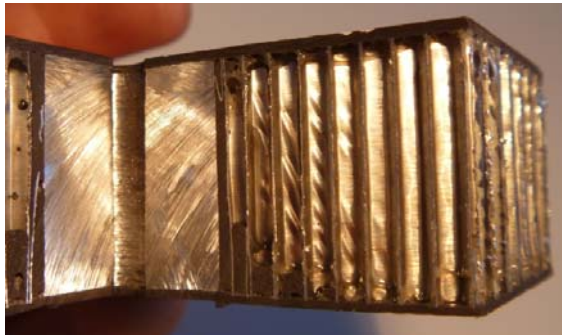
Spezifikation Materialien

- Aluwabe und Prepreg Gewebe $0^\circ/90^\circ$ und 0° Gelege, Potting DP 490
- 5 Lagen , 0,85 mm Stark, $\Rightarrow \approx 27,00 \text{ mm}$



Insertversagen

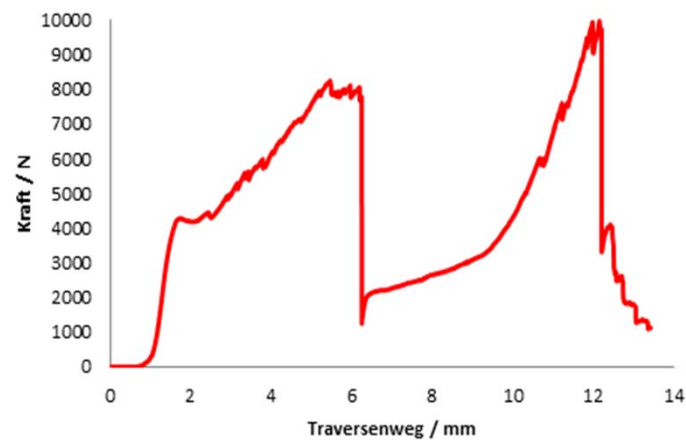
Lastfall: Pullout



1. Peak Zellwände Potting/Insert beulen



2. Peak Reißen der einfachen Zellwände



- 2 unterschiedliche Theorien
- Anti Plane und Higher Order Sandwich beam Theory (HSAPT)
- Entscheidung durch Steifigkeitsverhältnis Deckschicht / Kern
 - > Gewählter Ansatz: HSAPT, da Decklagen vglw. biegesteif (0,85 mm stark)
- bei 13 kN transversaler Last des Anbindungspunktes
 - > ca. 7 kN pro Insert
 - Pottingradius 16,1 mm -> Insertradius 13 mm

- Auswahl auf Grund des Gewichtes und des Fertigungsaufwandes
- CFK-Röhrchen trägt die Schraubenklemmkraft

- 1. Konzept: Backing Plate (BP) mit $r = 16,1 \text{ mm}$

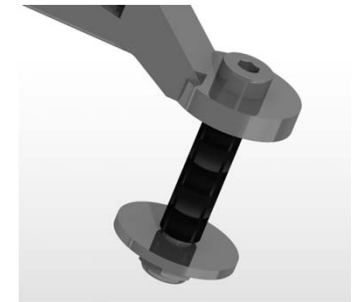
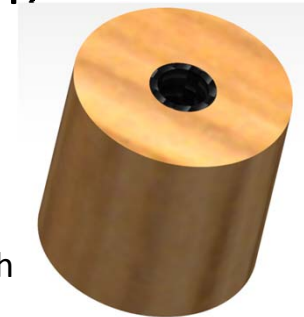
erwartetes Schadensbild: Schubbeulen Radius BP dann Druckversagen des Kerns

- 2. Konzept: Balsaholz Core Patch $r = 13 \text{ mm}$

erwartetes Schadensbild: Schubbeulen des Wabenkerns um Core Patch

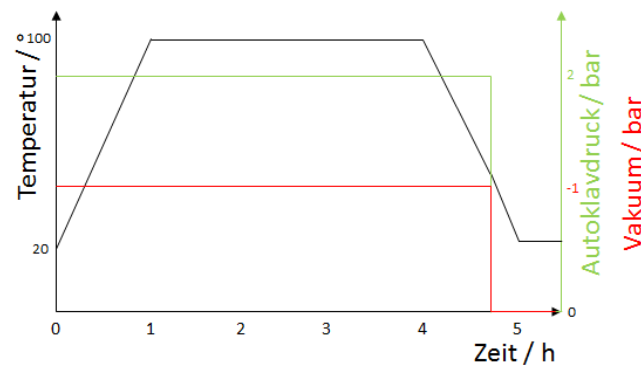
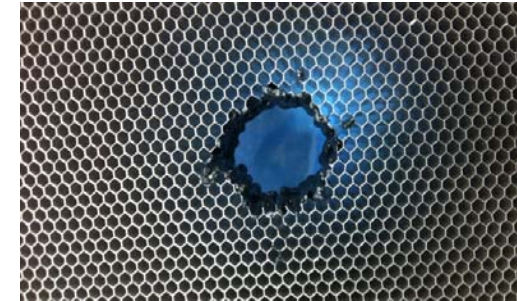
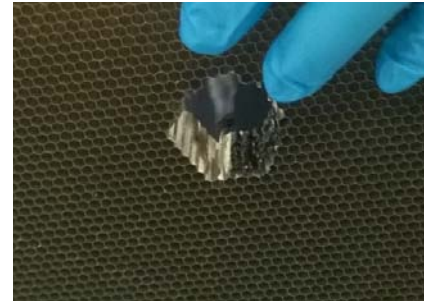
- 3. Konzept: Deckschichtpatch $r = 16 \text{ mm}$

erwartetes Schadensbild: Schubbeulen Radius BP dann Druckversagen des Kerns



Fertigung Probekörper

- Zuschneiden
- Legen der äußeren Deckschicht und Aushärten
- Aufbau des Sandwichpaneel
- füllen der Waben mit Potting
- Aushärten der Deckschichten und Klebefilms in Autoklaven
- Anbringen der Brackets



- Materialprüfmaschine Instron 150
- Auflagerabstand 250 mm
- Quasistatische Zugprüfung bei 5 mm / min
- Parameter: Last, Traversenweg und Zeit
- Setzvorgang bis 100 N danach entlasten und Test bis zum Versagen
- Dokumentation durch Fotos



Ergebnisse und Auswertung

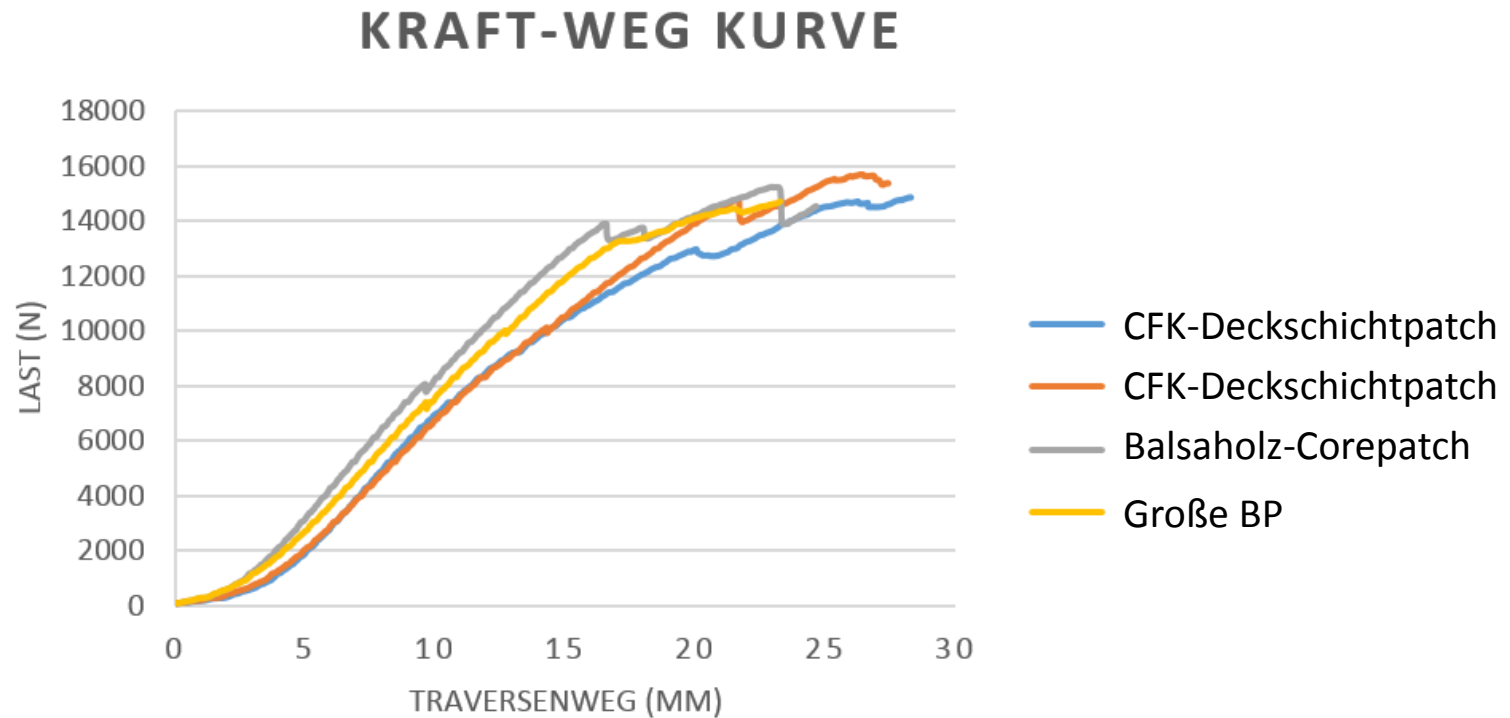
- Unerwartet hohe Durchbiegung des Panels und der Brackets
- Inserts hohen Biegespannungen ausgesetzt
- 3 von 4 Brackets reißen während der Tests

Vor dem Test



Nach dem Test





- Alle Inserts erreichen ein Lastniveau von mehr als 13 kN

Teststück 1: CFK-Röhrchen mit großer BP



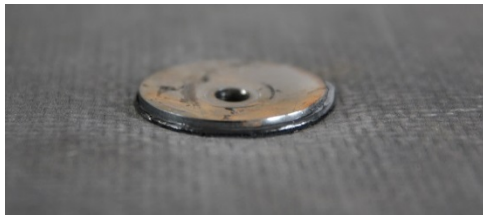
Längsschnitt durch den rechten Anbindungspunkt.

Teststück 5: CFK-Röhrchen mit Balsaholz Core-Patch

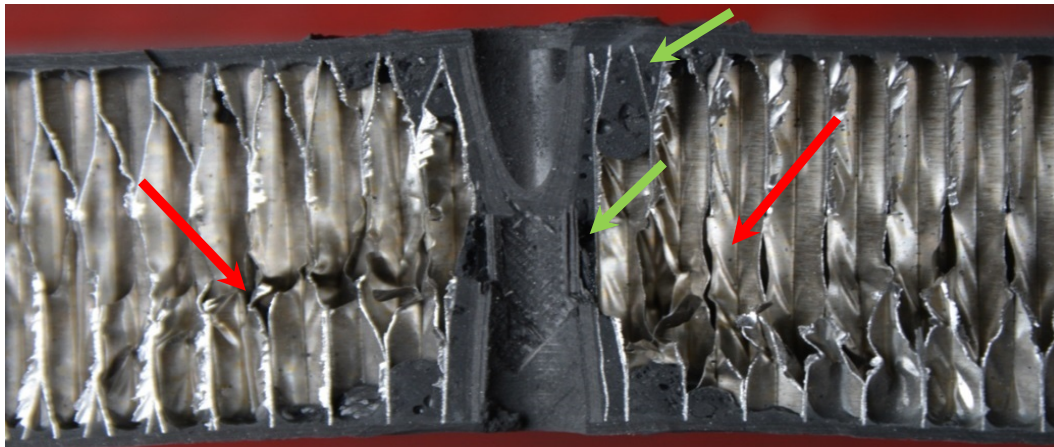


Längsschnitt durch den linken Anbindungspunkt.

Teststück 1: CFK-Röhrchen mit großer BP



Unter BP eingedrückter Struktur



Schnitt durch linken Anbindungspunkt.

Teststück 5: CFK-Röhrchen mit Balsaholz Core-Patch



Riss in der Deckschicht



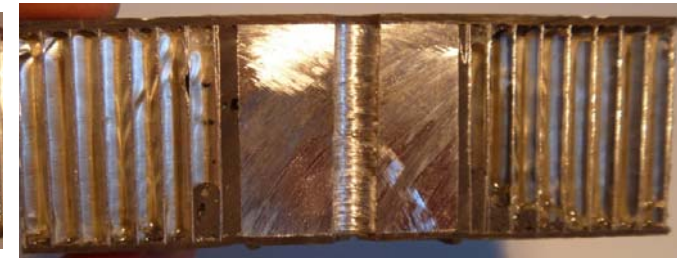
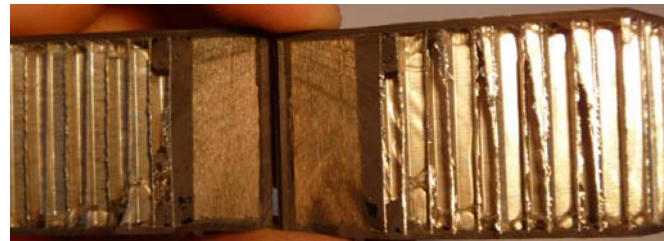
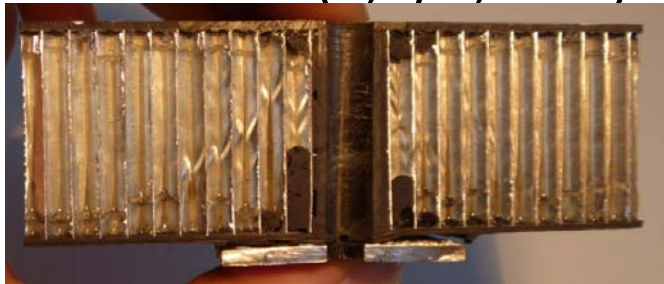
Schnitt durch rechten Anbindungspunkt.

Pullout Tests an einzelnen Inserts

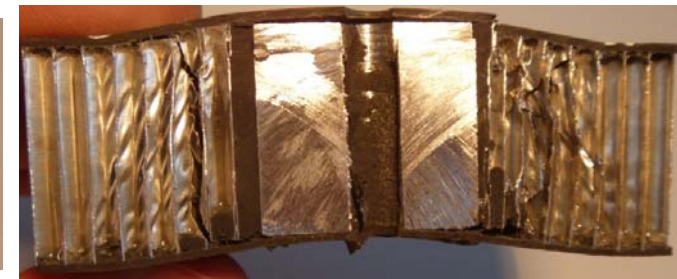
- 80 x 80 mm Proben, Durchmesser Einspannung 60 mm, 6 mm / min

Teststück 2 (7,4/8,5 kN) Teststück 4 (7,5/11,0 kN) Teststück 1 (11,0/12,1 kN)

1. Peak

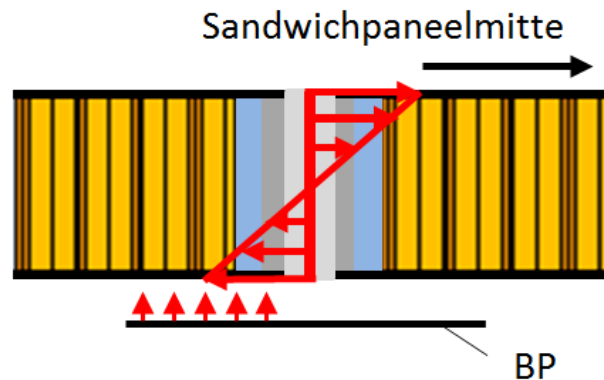


Versagen



Vermuteter Versagenshergang:

1. Richtungsabhängige Kernschädigung durch Biegebelastung



2. Vorschädigung begünstigt Versagen des Kerns durch Beulen bzw. Core Crush
3. Beulen der einfachen Zellwände
4. Reißen der einfachen Zellwände und Kontinuierliches Einknicken der doppelten Zellwände

Auswertung 2/3

Konzept 1 (große BP):

Wenig Biege widerstand, Stärkste Kernschädigung

Kegelförmiges Beulen des Kerns anschließend reißen der Zellwände um Insert und kegelförmiger Core Crush

Konzept 2 (Balsaholz):

Hoher Biege widerstand, nahezu keiner gerichtet Kernschädigung

Geringe irreversible Schädigung im Zugversuch mit Bracket

Konzept 3 (Deckschichtpatch):

Wenig Biege widerstand

Zylinderförmiges Beulen des Kerns anschließend kegelförmiger Core Crush über BP



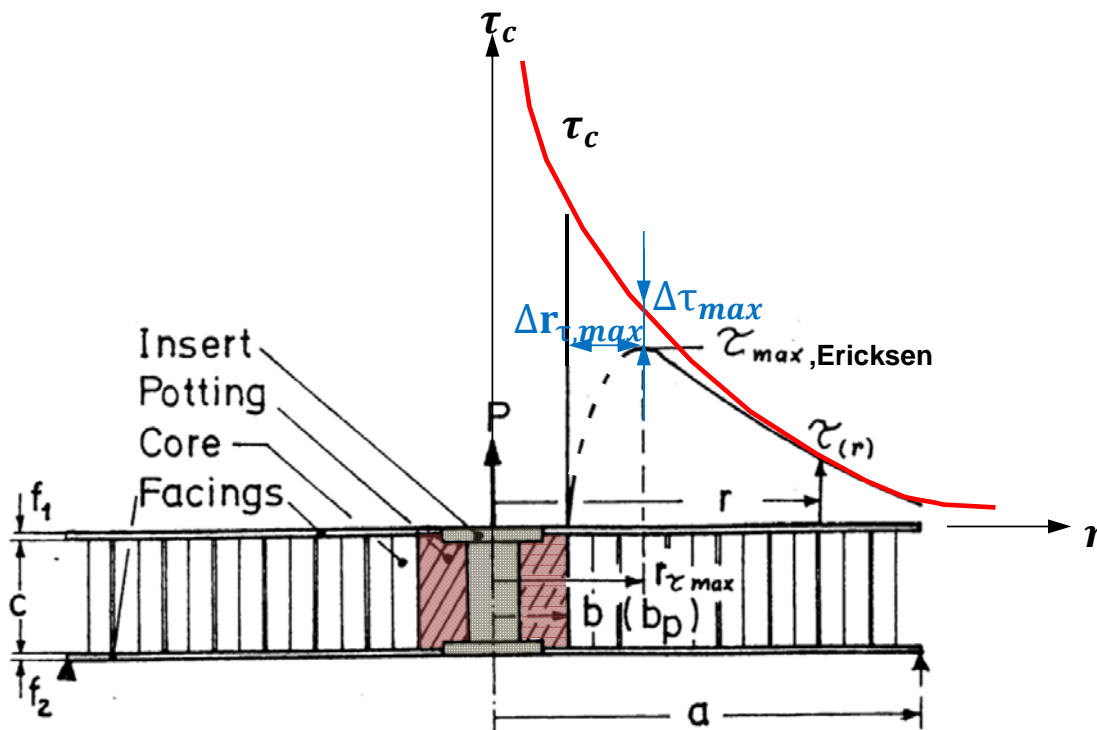
Auswertung 3/3

Konzept	Gewicht (g pro Insert)	Zugversuch Bracket (kN)	Berechnung Insert (kN)	Zugversuch Insert (kN)	Verbindungsgüte (g/kN)
Große BP	15,0	13,3	7,0	7,4	2,03
Balsaholz-Corepatch	14,9	13,9	7,0	7,5	1,99
CFK-Deckschichtpatch	12,5	13,0	7,0	7,0 (nach Rechnung)	1,79
Vollaluminium Zylinder	46,2	-	7,0	11,0	4,20

- Alle Konzepte haben Test bestanden
- Konzept 1 wird für LR17 empfohlen
- Verhalten sich unter Pull-Out Last wie erwartet
- Durchmesser der Inserts und BP kann noch verkleinert werden, da max. Belastung 7 kN benötigt -> CFK-Röhrchen mit 12 mm BP
- Biegebelastung verringert Belastbarkeit von Inserts, deutlich schneller irreversible Schädigungen -> Lastfall ist extrem wichtig

Dankeschön für Ihr Interesse

Beispiel Ericksen 1953

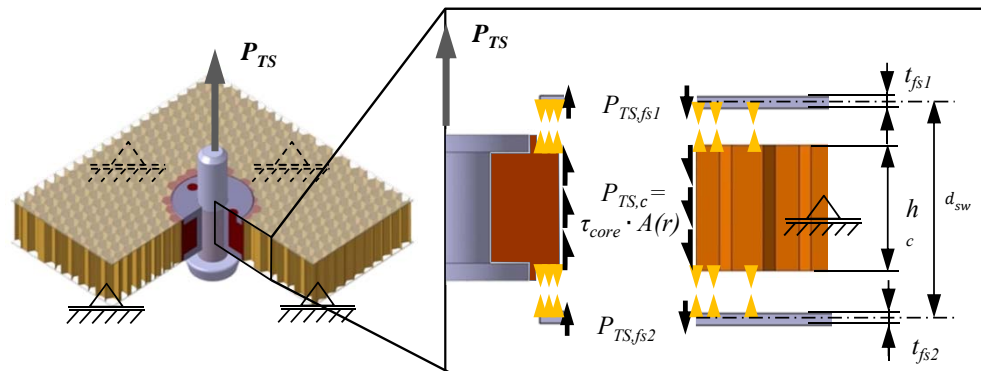


„Steifigkeitsverhältnis“

$$\alpha = \frac{G_{c,typ,ESA} \cdot (t_{fs1} + t_{fs2})}{\sqrt{\left(\frac{E_{fs,com}}{1 - \nu_{fs}^2}\right) \cdot h_c \cdot t_{fs1} \cdot t_{fs2}}} \cdot \frac{I_{fs}}{I_{ly}}$$

α kleiner als 0,4 dann ist Anti Plane ausreichend

`Anti Plane Theory` Ansatz



Quelle: Wolff et al.

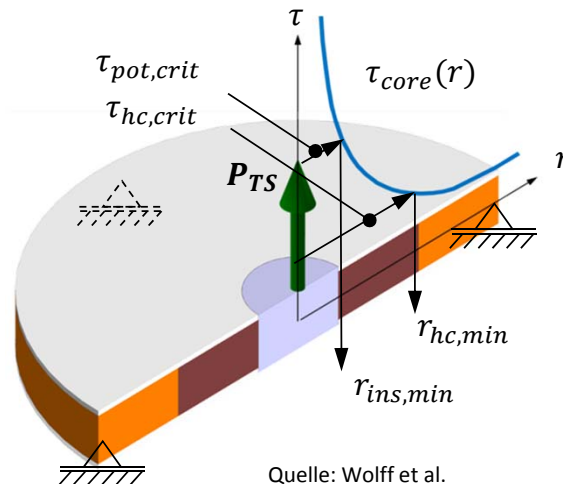
$$P_{TS} = P_{TS,c} + P_{TS,fs1} + P_{TS,fs2}$$

Dünne Deckschichten (= geringe Biegesteifigkeit $B_{fs} = E_{fs} \cdot I_{fs}$)
→ geringer Widerstand gegen Deformation.

$$P_{TS,fs1} + P_{TS,fs2} \ll P_{TS,c}$$

$$\rightarrow P_{TS,fs1}, P_{TS,fs2} \approx 0$$

$$\rightarrow P_{TS} \approx P_{TS,c}$$



Quelle: Wolff et al.

$$\text{Kernschubformel: } \tau_c(r) = \frac{P}{2\pi \cdot r \cdot (h_c + t_{fs})}$$

- Für weitere Inserttests:
 - min. zwei Teststücke auf verschiedenen Lastniveaus belasten
 - Einzeltests ohne Bracket
- > Ursache und Reihenfolge der Schädigung so besser nachzuvollziehen